

# ĐÁNH GIÁ ĐẶC TÍNH KIÊN CỐ CỦA ĐƯỜNG LÒ TẠI MỎ MUỐI "WIELICZKA"

TS. KRZYSZTOF TAJDUŚ, TS. RAFAŁ MISA  
Viện Nghiên cứu Cơ học Đá, Viện Hàn lâm Khoa học Ba Lan  
ThS. NGUYỄN PHỤ MINH VƯƠNG  
Trường Đại học Khoa học và Công nghệ, AGH UST

Mỏ muối đá "Wieliczka" được tìm thấy tại địa điểm có cùng tên Wieliczka - thành phố tiếp giáp với cổ đô nổi tiếng Cracow, nằm tại phía nam của đất nước Ba Lan. Sự khởi đầu của mỏ muối bắt đầu từ thế kỉ 13, muối tại đây được khai thác đến năm 1996 với 9 tầng khai thác dưới độ sâu từ -64 m đến -327 m. Tổng chiều dài các đường lò cùng với các hầm trạm lớn nhỏ (hội trường, sân ga, bến bãi, các phòng, khoang) là trên 300 km, chỉ tính riêng tổng số đường lò đã lên tới 3000 các loại. Năm 1978, "Wieliczka" được ghi vào bản danh sách đầu tiên các di sản thế giới của UNESCO. Hàng năm, trên 1 triệu lượt khách du lịch đến thăm mỏ muối này, trong đó 60 % là khách du lịch nước ngoài. Cho đến nay, Tuyến Du lịch - tuyến đường mòn chính trong mỏ muối "Wieliczka" đã tiếp đón trên 36 triệu lượt khách du lịch từ khắp nơi trên thế giới [12]. Trên tuyến đường mòn đó chúng ta có thể chiêm ngưỡng hơn 20 công trình xây dựng, trong đó đẹp nhất là nhà thờ thánh Kinga.

## 1. Giới thiệu công trình nhà vệ sinh ngầm

Mỏ muối "Wieliczka" lên kế hoạch xây dựng một công trình ở độ sâu 140 m, đóng vai trò làm nhà vệ sinh ngầm dành cho khách du lịch trong tương lai. Nhà vệ sinh ngầm dự kiến được xây dựng tại hông phía bắc của đường lò Hauer, cách sân ga Gołuchowski 8 m hướng về phía hầm trạm Brygid. Theo tài liệu của mỏ "Wieliczka" [4] nhà vệ sinh ngầm dự kiến có kích cỡ như sau: 4 m chiều rộng, 6 m chiều dài và

3,5 m chiều cao. Thiết kế phải đáp ứng khả năng chịu lực và khả năng sử dụng phù hợp với tính năng của một công trình công cộng.

Với mục đích đánh giá tính kiên cố của công trình, các tác giả đã tiến hành đồng thời nghiên cứu phân tích và nghiên cứu số. Nghiên cứu phân tích được thực hiện dựa trên lý thuyết Tximbarevich [1], [7]. Sau đó, tính toán số được thực hiện trên phần mềm Abaqus 3D, dựa trên phương pháp các phần tử hữu hạn FEM (Finite Element Method). Trong thực tế, việc sử dụng các phương pháp FEM là rất phổ biến trong giải quyết các vấn đề kỹ thuật, trong đó có Địa kỹ thuật - được sử dụng thường xuyên nhất trong các trường hợp mà vấn đề cần giải quyết có cấu tạo họa hình và điều kiện ranh giới phức tạp [8]. Ứng dụng FEM trong Địa kỹ thuật sử dụng gói phần mềm Abaqus 3D có thể được tìm thấy trong nhiều công trình nghiên cứu và tài liệu, ví dụ Helwany [2], Tajduś [8], [9], [10].

## 2. Nghiên cứu hoạt động của địa tầng xung quanh công trình nhà vệ sinh ngầm dự kiến

### 2.1. Tính toán phân tích

Dựa trên những công thức được biết đến trong xác định chiều cao vòm phá hủy và cơ sở của của lý thuyết Tximbarevich [7], các tính toán được tiến hành cho những thông số hình học sau: khoảng cách mở lớn nhất:  $l=7$  m, chiều cao công trình:  $w=3,5$  m.

Bảng 1 giới thiệu những thông số sức bền của đá được xác định dựa trên những kết quả nghiên cứu của bộ môn Địa cơ, Xây dựng và Địa kỹ thuật, trường AGH và những nghiên cứu thực địa (in situ).

Bảng 1. Thông số cơ học của các loại đá bột kết [5]

Thông số	Góc ma sát trong [°]	Trọng lượng thể tích [kN/m <sup>3</sup> ]	Số Poisson	Lực kết dính [kPa]	Lực kháng nén $R_c$ [MPa]*
Các loại đá bột kết	20	20	0,25+0,35	300+400	2,9 (giá trị nhỏ nhất thu được từ nghiên cứu in situ)

Giả định thêm rằng các loại đá nằm trong khu vực xung quanh công trình nhà vệ sinh ngầm dự kiến, được xếp vào nhóm đá "khá mềm" dựa trên hệ số kiên cố Prôtôđiakônốv [7]. Các loại đá này có hệ số kiên cố bằng  $\mu=1,5$ . Dựa trên những đánh giá nhân quan thì khu vực nghiên cứu có hệ số kiên cố  $\mu=1,25$  tương ứng với giá trị trung bình của nhóm đá "khá mềm" (đá phiến rạn nứt, quặng ẩm mềm,...), và nhóm đá "mềm" (đất sét trung bình, đất sét cứng,...).

Dựa trên những thông số cụ thể được đưa ra bên trên, giá trị áp lực và lực tác động lên hệ thống khung chống của đường lò, cũng như kích thước khu vực có khả năng suất hiện rạn nứt, phá hủy được xác định (Bảng 2).

Bảng 2. Tập hợp kết quả tính toán phân tích dựa trên lý thuyết Tximbarevich

Chiều dài cơ sở của vòm rạn nứt, m	$l_1=11,90$
Chiều cao vòm phá hủy của đá nóc, m	$f=4,76$
Áp lực thẳng đứng tác động lên khung chống của đường lò, MPa	$p_w=0,1$
Lực thẳng đứng tác động lên khung chống của đường lò, MN	$P_w=0,67$
Áp lực ngang cực tiểu, MPa	$p_{umin}=0,05$
Áp lực ngang cực đại, MPa	$p_{umax}=0,08$

Kết quả tính toán cho thấy rằng trên nóc của công trình vệ sinh ngầm dự kiến có thể suất hiện vòm rạn nứt có chiều cao lên đến 4,8 m.

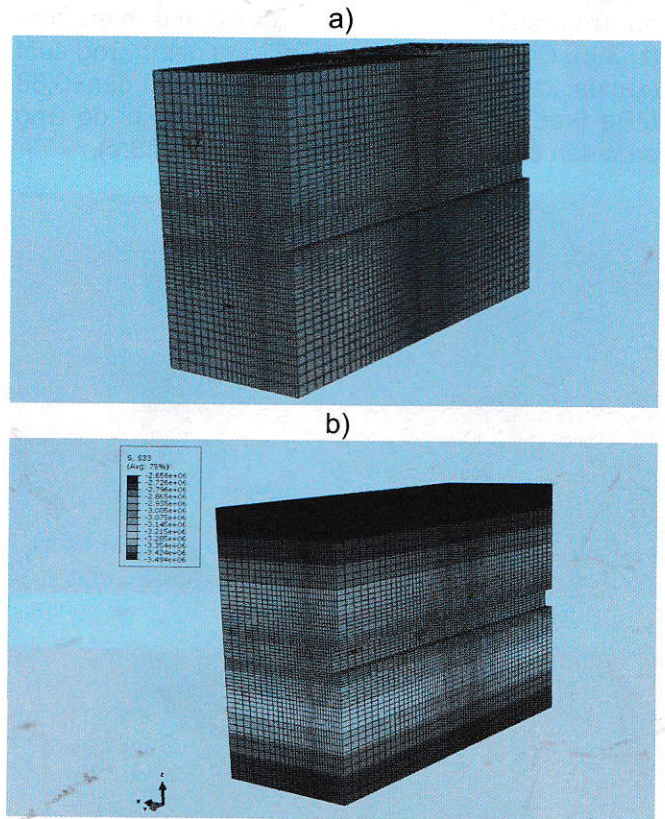
**2.2. Tính toán số**

Với mục đích thực hiện phân tích số, các tác giả đã tiến hành xây dựng mô hình mô phỏng 3 chiều (3D) trên chương trình phần mềm Abaqus. Mô hình mô phỏng 3 chiều có kích thước 24×66×43,5 m. Đối tượng mô phỏng là mặt trong của nhà vệ sinh ngầm dự kiến. Sơ đồ mô hình được hiển thị trên hình H.1.a.

Do thiếu thông số môđun đàn hồi E và số Poisson của những lớp đất đá trong địa tầng cho nên những thông số đó được lựa chọn bằng cách sử dụng Phân loại Hoek [3] với giả định rằng GSI (Geological Strength Index)=20, D=0 (Disturbance Factor - Hệ số phụ thuộc vào phương pháp đào đường hầm lò có giá trị từ 0 đến 1). Giá trị các thông số được sử dụng trong tính toán bao gồm:  $E=0,2 \text{ GPa}$ ,  $\nu=0,3$ ,  $\gamma=0,02 \text{ MN/m}^3$ .

Trong giai đoạn đầu, trạng thái ứng suất ban đầu được mô phỏng với trọng lượng thể tích trung bình của lớp phủ địa chất bên trên công trình dự kiến  $\gamma=0,02 \text{ MN/m}^3$  (hình H.1.b). Tiếp sau đó, trạng thái biến dạng và dịch chuyển của địa tầng tại khu vực đường lò được thiết lập. Trong những giai

đoạn tiếp theo quá trình xây dựng nhà vệ sinh ngầm dự kiến được mô phỏng. Giá trị và phân bố dịch chuyển đứng, dịch chuyển ngang, ứng suất đứng, ứng suất cực đại, ứng suất cực tiểu, và ứng suất cắt Tresca cho các giai đoạn khác nhau của mô hình được hiển thị trên hình H.2.



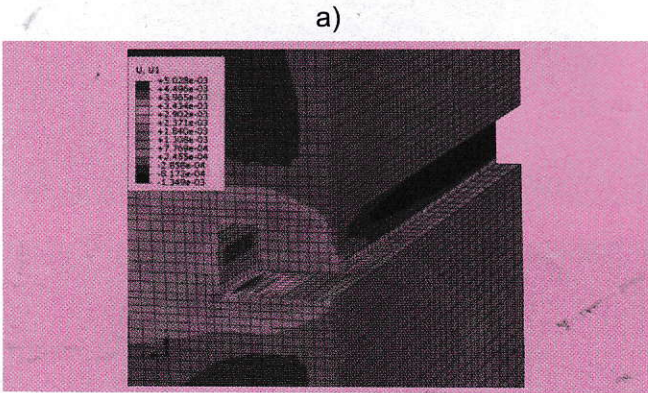
H.1. Sơ đồ mô hình số 3 chiều (3D) và trạng thái ứng suất ban đầu của địa tầng trong khu vực xây dựng nhà vệ sinh ngầm dự kiến

Dịch chuyển ngang trong trạng thái ban đầu theo hướng trục Ox ( $u_x$ ) có giá trị là  $10^{-10} \text{ m}$ , trong giai đoạn tiếp theo (sau khi hoàn thành đường lò) độ lớn dịch chuyển tại hông đường lò là khoảng 1,3 cm và tại nóc và nền đường lò là 2,2 cm. Sau khi mô hình hóa công trình dự kiến thì giá trị dịch chuyển  $u_x$  lên tới 5 cm (H.2.a). Tương tự đối với dịch chuyển ngang theo hướng trục Oy ( $u_y$ ), giá trị đó lên đến 4,3 cm sau khi tiến hành xây dựng công trình dự kiến (H.2.b). Dịch chuyển theo phương thẳng đứng có những thay đổi đáng kể giữa thời điểm trước và sau khi xây dựng công trình dự kiến (H.2.c). Dịch chuyển theo phương thẳng đứng tại nóc lò tăng từ 10 cm lên 19 cm và tại nền lò tăng từ 10,6 cm lên 19,8 cm.

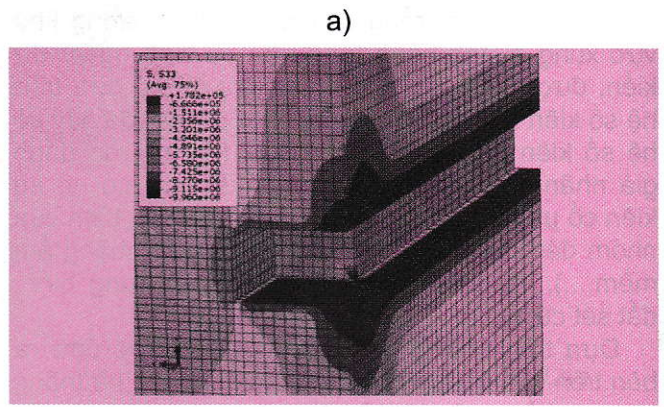
Ứng suất ngang  $\sigma_{33}$  có những thay đổi đối với từng giai đoạn trong quá trình xây dựng công trình dự kiến (H.3.a): tại nóc và nền lò, giá trị ứng suất

kéo tại thời điểm sau khi hoàn thành công trình dự kiến là 0,18 MPa, tại hông lò giá trị ứng suất nén tại thời điểm sau khi hoàn thành công trình dự kiến trong khoảng từ -3,0 đến -6,6 MPa.

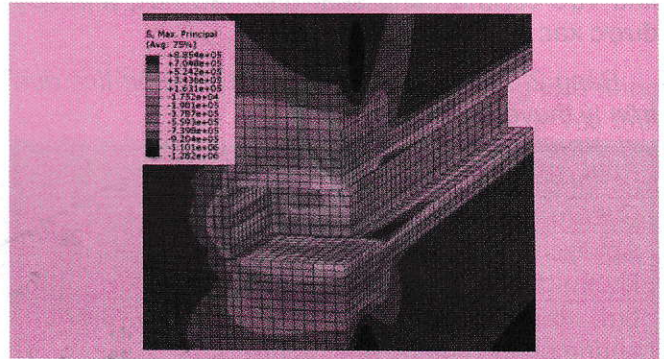
Cần lưu ý rằng, tồn tại sự gia tăng đáng kể của ứng suất nén tại điểm giao tiếp giữa đường lò và công trình dự kiến, lên đến -10 MPa (H.3.b). Phân bố ứng suất cực đại  $\sigma_{max}$  được thể hiện trên (H.3.b). Các tính toán cho thấy rằng giá trị ứng suất cực đại sau khi hoàn thành công trình lên đến +0,88 MPa (kéo) và -1,28 MPa (nén). Trong khi đó ứng suất nén cực tiểu có giá trị -10,4 MPa (H.3.c).



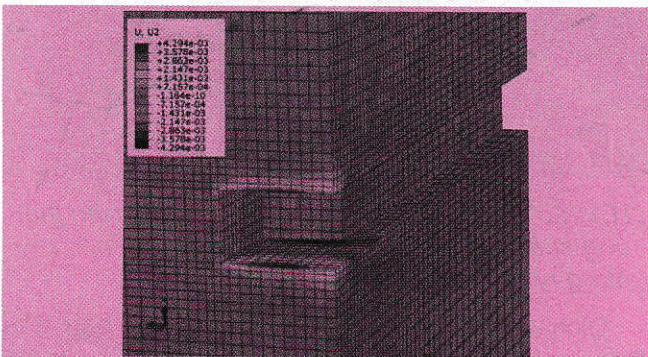
a)



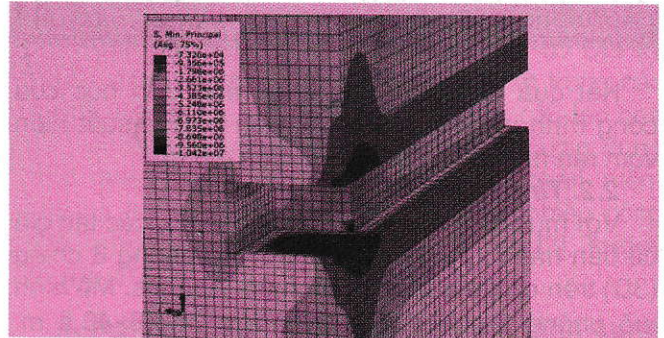
a)



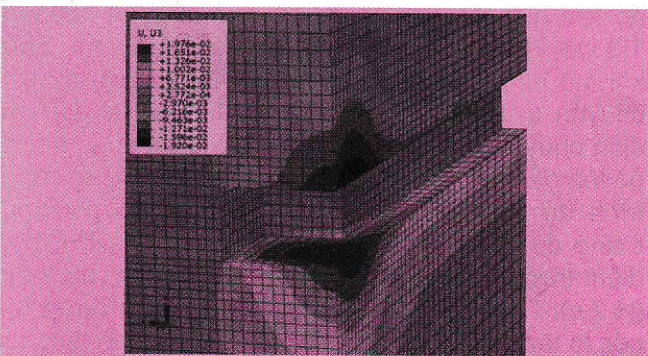
b)



b)



c)

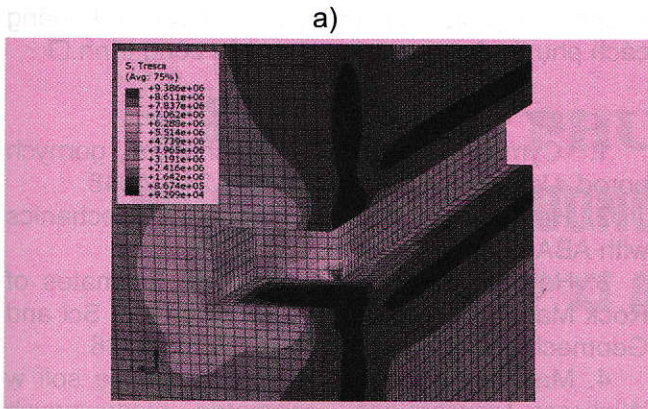


c)

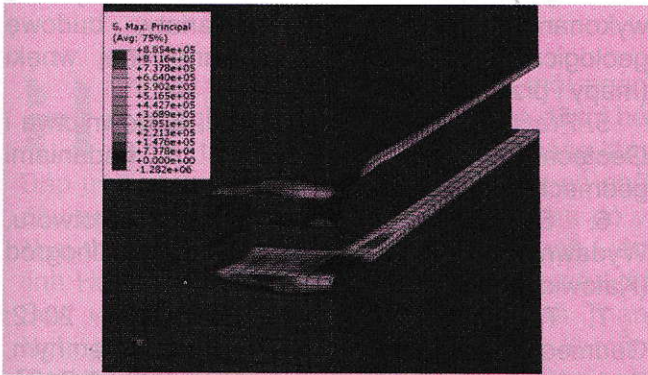
H.2. Phân bố dịch chuyển tại khu vực nhà vệ sinh ngầm dự kiến: a - Phân bố dịch chuyển  $u_x$ , b - Phân bố dịch chuyển  $u_y$ , c - Phân bố dịch chuyển  $u_z$

H.3. Phân bố ứng suất tại khu vực nhà vệ sinh ngầm dự kiến: a - Phân bố ứng suất thẳng đứng  $\sigma_z$ , b - Phân bố ứng suất cực đại  $\sigma_{max}$ , c - Phân bố ứng suất cực tiểu  $\sigma_{min}$

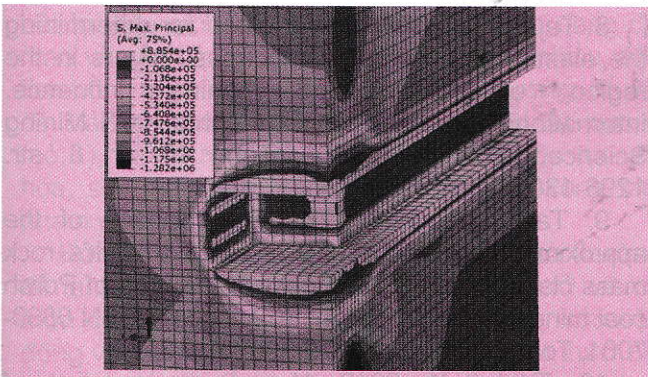
Phân bố giá trị ứng suất cắt Tresca  $\tau_{max}=(\sigma_1-\sigma_3)/2$  trong đó  $\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \sigma_3$ , của các giai đoạn khác nhau trong quá trình mô phỏng (H.4.a). Tại hông của điểm giao cắt giữa đường lò và công trình dự kiến suất hiện ứng suất cắt cực đại với giá trị  $\tau_{max}=9,39$  MPa. Tiếp sau đó, phân bố ứng suất nén và ứng suất kéo được phân tích tại thời điểm hoàn thành công trình dự kiến (H.4.b, c). Có thể nhận thấy rằng trên nóc công trình suất hiện ứng suất kéo phân bố tại khu vực có chiều dài lên đến 1,5 m. Theo nghiên cứu in situ thì lực kháng kéo của các lớp đá phân bố trên nóc đường lò có giá trị rất nhỏ vì vậy mà có thể giả định rằng lực kháng nén của các lớp đá đó bằng 0.



a)



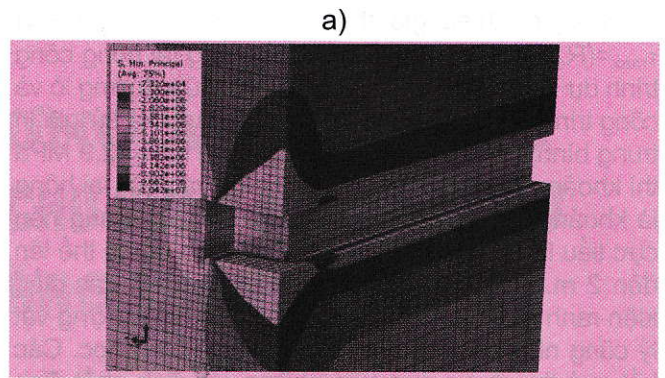
b)



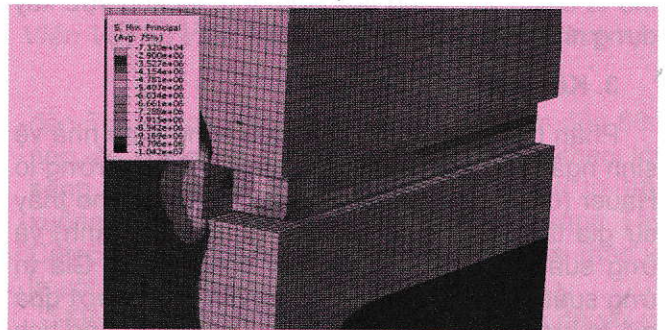
c)

H.4. Phân bố ứng suất cắt Tresca  $\tau_{max}$  tại nhà vệ sinh ngầm dự kiến: a - Ứng suất cắt Tresca, b - Ứng suất kéo cực đại (+), c - Ứng suất nén cực đại (-)

Trong thực tế các loại đá đỏ không có khả năng kháng lực từ các ứng suất kéo. Điều này có nghĩa là nếu thiếu những biện pháp chống thích hợp thì có khả năng cao sẽ xuất hiện rạn nứt và tụt nóc công trình nhà vệ sinh ngầm dự kiến. Ứng suất kéo cũng xuất hiện tại nền công trình, đó có thể là nguyên nhân gây ra rạn nứt và thậm chí bùng nền công trình dự kiến. Ứng suất nén tính toán tại một số khu vực cũng vượt giá trị cho phép được xác định dựa trên những nghiên cứu in-situ. Trên hình H.5 ứng suất nén  $\sigma_{min}$  vượt quá giá trị cho phép đối với lực kháng nén  $R_c=1,3$  MPa (trường hợp thấp nhất) hoặc  $R_c=2,9$  MPa.

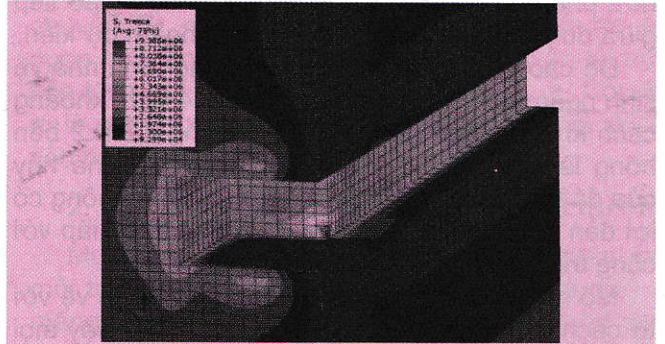


a)

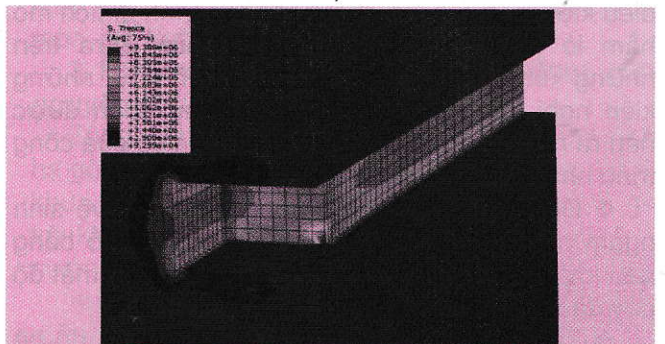


b)

H.5. Phân bố ứng suất cực tiểu với giả định: a - Trường hợp  $\sigma_{min}>1,3$  MPa; b - Trường hợp  $\sigma_{min}>2,9$  MPa



a)



b)

H.6. Phân bố những khu vực có nguy cơ bị rạn nứt được tính toán dựa trên giả thuyết Tresca với giá trị lực kháng nén nhất định của đá xung quanh nhà vệ sinh ngầm: a - Trường hợp  $R_c=1,3$  MPa; b - Trường hợp  $R_c=2,9$  MPa

H.6 giới thiệu giả thuyết ứng suất cắt Tresca  $\tau_{\max}=(R_c/2)$ . Trên hình H.6 ta thấy rằng tại hông công trình dự kiến và hông phần giao tiếp giữa đường lò và công trình dự kiến suất hiện sự phá hủy. Giả sử giá trị trung bình lực kháng nén của địa tầng là  $R_c=2,9$  MPa thì khoảng cách cực đại của khu vực rạn nứt tại hông là khoảng 1,2 m, trong khi đó đối với lực kháng nén cực tiểu là  $R_c=1,3$  MPa thì khoảng cách đó có thể lên đến 2 m. Tính toán số được thực hiện với các điều kiện ranh giới nhất định liên quan đến hiện tượng vật lý cũng như các mô hình toán học và hình học. Các kết quả thu được dựa trên những giả định nhất định mô tả chính xác trạng thái ứng suất tại khu vực xây dựng nhà vệ sinh ngầm dự kiến.

### 3. Kết luận và kiến nghị

Phân tích cơ học địa chất của công trình nhà vệ sinh ngầm dự kiến tại hông phía bắc của đường lò Hauer (cách sân ga Gołuchowski 8 m) đã cho thấy sự gia tăng ứng suất nén (tại hông công trình) và ứng suất kéo (tại nóc và nền công trình). Giá trị ứng suất nén tính toán tại nhiều địa điểm vượt quá giá trị lực kháng nén cho phép. Dựa trên phân tích trên có thể kết luận rằng các ứng suất có thể gây ra rạn nứt, phá hủy tại hông, nóc và nền của công trình nhà vệ sinh ngầm dự kiến. Ngoài ra, sự rạn nứt, phá hủy có thể xuất hiện tại khu vực giao tiếp giữa đường lò Hauer và nhà vệ sinh ngầm dự kiến.

Độ cao vòm phá hủy trên nóc công trình nhà vệ sinh ngầm được xác định là khoảng 4,8 m, khoảng cách khu vực rạn nứt, phá hủy ngang cách 2 bên hông là khoảng 2,0-2,2 m. Sự rạn nứt, phá hủy của đá trên phạm vi đó có thể ảnh hưởng không có lợi đến tính kiên cố của các đường lò tiếp giáp với công trình nhà vệ sinh ngầm dự kiến.

Mỏ muối "Wieliczka" được quản lý và bảo vệ với tư cách là một công trình di sản văn hóa vì vậy mọi công tác đảm bảo an toàn phải đáp ứng những điều kiện cụ thể dành cho một công trình di tích mỏ hầm lò (bảo tồn hiện trạng lịch sử). Dựa trên những kết quả thu được trong nghiên cứu, những kiến nghị trong công tác đảm bảo an toàn được nêu ra nhằm mục đích duy trì tính kiên cố của công trình nhà vệ sinh ngầm trong tương lai:

- ❖ Để bảo vệ hông của công trình nhà vệ sinh ngầm nên sử dụng khung chống gỗ, gia cố bằng neo không ngắn hơn 2,5 m và lưới thép với mật độ dày đặc;

- ❖ Tại nền của công trình nhất thiết phải đổ bê tông cốt thép nhằm mục đích chống lại khả năng bùng nền;

- ❖ Để bảo vệ nóc công trình, có thể sử dụng gia cố tạm thời bằng neo cùng với lưới thép dày đặc;

- ❖ Đối với hệ thống chống cố định nên sử dụng

khung ván gỗ với cột chống 2 bên hông có khoảng cách phụ thuộc vào chức năng của công trình. □

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

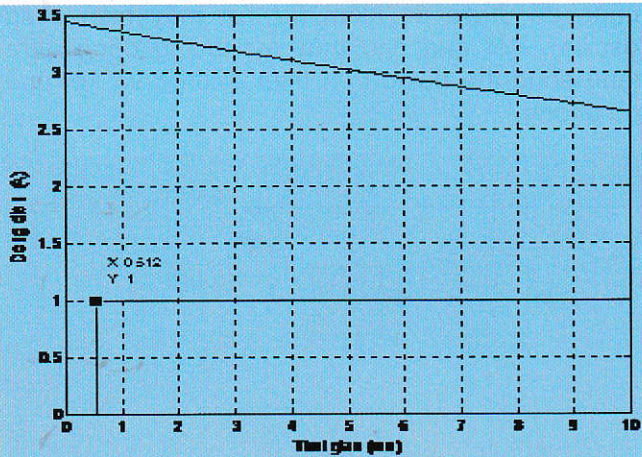
1. Cymbariewicz P.M.: *Mechanika gornych porod*, Uglietechizdat, Moskawa, s.247, 1948.
2. Helwany S. 2007: *Applied Soil Mechanics with ABAQUS Applications*.
3. Hoek E., Brown E.T. *Practical Estimates of Rock Mass Strength*. Int J Rock Mech Min Sci and Geomech, Pergamon, 1998; 34:8:1165-1186.
4. *Materiały dostarczone przez kopalnię soli w Wieliczce zawierające: geometrię planowanych robót górniczych i budowlanych związanych z wykonaniem wnęki pod sanitariaty, budowę geologiczną złoże w rejonie planowanej wnęki (mapy i przekroje geologiczne) itp.*
5. *Prace Katedry Geomechaniki, Budownictwa i Geotechniki związane z badaniami geomechanicznymi złoże soli w Wieliczce.*
6. Sałustowicz A.: *Mechanika górotworu*, Wydawnictwo Górniczo-Techniczne, Stalinogród (Katowice), 1955.
7. Tajduś A., Cała M., Tajduś K. 2012: *Geomechanika w budownictwie podziemnym. Projektowanie i budowa tuneli*. ISBN 978-83-7464-511-9, Wydawnictwo AGH Krakow.
8. Tajduś K. 2009: *New method for determining the elastic parameters of rock mass layers in the region of underground mining influence*. International Journal of Rock Mechanics & Mining Science, ISSN 1365-1609, Tom. 46, nr. 8, str. 1296-1305 (IF. 1.390).
9. Tajduś K. 2010: *The determination of the approximate value of a GSI index for Hoek's rock mass classification for the rocks in the area of Polish coal mines*. Archives of Mining Sciences, ISSN 0860-7001, Tom. 55, nr. 4, str. 879-890 (IF. 0.312).
10. Tajduś K. 2013: *Numerical simulation of underground mining exploitation influence upon terrain surface*. Archives of Mining Sciences, ISSN 0860-7001, Volume 58 no. 3, pp. 605-616 (IF. 0.319).
11. Wojnar W. 2014: *Opinia geotechniczna stropu wnęki projektowanej pod sanitariaty*. Poz. III podłuznia Hauer-Kopalnia Soli „Wieliczka”, Kraków sierpień 2014, Materiały niepublikowane. GeoTech.
12. [www.kopalnia.pl/](http://www.kopalnia.pl/).

**Người biên tập:** Võ Trọng Hùng

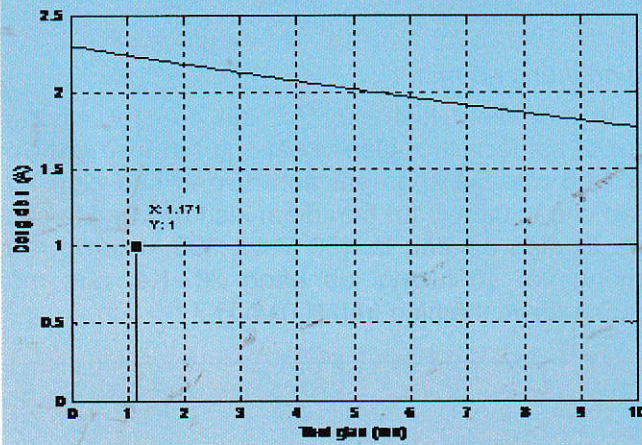
**Từ khóa:** nhà vệ sinh ngầm; đặc tính kiên cố; đường lò; sự ổn định địa tầng, tính toán số, tính toán phân tích.

**Ngày nhận bài:** 01 tháng 12 năm 2015

(Xem tiếp trang 12)



H.6. Kết quả mô phỏng thời gian kích nổ với điện áp nạp 600 V



H.7. Kết quả mô phỏng thời gian kích nổ với điện áp nạp 400V

yếu tố làm sai lệch thời điểm kích nổ (kích nổ sớm, sai lệch thời gian vi sai). Các kết quả này được phân tích, mô phỏng bằng Matlab simulink cho thấy:

- ❖ Có sự sai lệch thời điểm kích nổ kíp khi điện trở của mạng là không giống nhau. Điều này có thể làm sai lệch thời gian vi sai của các mạng nổ có các mạch nối tiếp-song song hay các hệ thống với máy nổ mìn có nhiều đầu ra vi sai;

- ❖ Thời gian kích nổ vi sai cũng bị ảnh hưởng bởi giá trị điện áp nạp ban đầu trên tụ.

Với kết quả thu được tác giả kiến nghị:

- ❖ Các thợ nổ mìn cần nắm vững các nguy cơ có thể gây ra hiện tượng nổ sớm (thiết bị liên lạc, cách điện dây mìn,...) để loại bỏ chúng khi nổ mìn;

- ❖ Để nâng cao độ chính xác vi sai khi nổ mìn với kíp điện cần thực hiện bố trí điện trở các nhánh tương đương với nhau;

- ❖ Các máy nổ mìn có chế độ kích nổ vi sai nhiều kênh có thể thực hiện điều chỉnh điện áp nạp phù hợp với điện trở của mỗi nhánh để đảm bảo sự chính xác vi sai. □

**TÀI LIỆU THAM KHẢO**

1. Kathryn Podoliak. The Evolution of the Detonator. DynoConsult New leaders' conference 2004.
2. Nhữ Văn Bách. Nguyên tắc thiết kế một vụ nổ mìn thân thiện với môi trường. Tạp chí Công nghiệp Mỏ. Số 4. 2015; trang 17-20.
3. Canada explosives risk managers LLC. Reports of Premature Initiation of Electric detonators by Radio Frequency Energy. Canada February 2015.
4. <https://en.wikipedia.org/wiki/DBm>
5. ICI Explosives. Phương pháp nổ mìn an toàn hiệu quả trên mỏ lộ thiên, mỏ đá và công trình xây dựng.
6. Monetti. Technical specification electric igniter EPX-N.
7. <http://z121.vn/ProductDetails.aspx?id=20>: "Kíp nổ vi sai an toàn".

**Người biên tập:** Đào Đức Tạo

**Từ khóa:** nổ mìn, thời gian vi sai, an toàn nổ, kích nổ sớm

**Ngày nhận bài:** 08 tháng 10 năm 2015

**SUMMARY**

Blasting plays an important role in many industrial fields including mining. Blasting with electric detonators is one of the methods is widely use in practice. That causes of high precision in initiate the explosion. In order to improve the precision and safety for the blasting with electric detonators, the paper summaries and analyses several factors effected to the initiated explosion moment.

**ĐÁNH GIÁ ĐẶC TÍNH...**

(Tiếp theo trang 72)

**SUMMARY**

This paper presents the results obtained from the study of the changing state of stress, deformation and displacement of underground toilets for tourists. Ensuring stability for underground construction is very important. After conducting research and evaluate the stability of underground construction, the authors propose appropriate plans to protect the safety of underground toilet.